

KAJIAN MATEMATIS FITOREMEDIASI: PENENTUAN DISTRIBUSI KONSENTRASI MERKURI (Hg) PADA AKAR BAKAU (*Rhizophora mucronata*) MENGGUNAKAN METODE BEDA HINGGA

Nurhidayah¹, A.I. Jaya², dan R. Ratianingsih³

^{1,2,3} Program Studi Matematika Jurusan Matematika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako

Jalan Sukarno-Hatta Km. 9 Palu 94118, Indonesia

¹n_hidayah13@yahoo.co.id, ²jayaindraagus@gmail.com, ³ratianingsih@yahoo.com

ABSTRACT

The existence of mercury as a pollutant in the water environment caused by industrial activities and natural process can gives directly and indirectly impact to the marine life. As an example, it makes the reduction of water quality. Considering the mercury as the most dangerous pollutant, it would require a proper handling program to reduce the amount of mercury in the water environment. such as planting of hyperakumulator plant. *Rhizophora mucronata* is one of hyperakumulator plants that can absorb mercury effectively. This study discusses the distribution of mercury (Hg) concentrations in *Rhizophora mucronata* roots, that is investigated mathematically using diffusion model. The modification of the model is $u_t = ku_{xx} + f(x)$, where $f(x)$ states absorption roots function in absorbing mercury. A numerical scheme is derived by apply the finite difference method explicit scheme to get the numerical solutions. The simulation shows that the mercury concentrations is reduced from the root bark of the roots towards the central part. The difference of concentration distribution of mercury (Hg) in each layer, from the root bark of the roots towards the central part, will also decreases from the first week to the fifth week of time interval.

Keywords : Diffusion Equations, Explicit Finite Difference Schemes, Mangrove, Mercury

ABSTRAK

Terdapatnya merkuri sebagai polutan di lingkungan perairan yang disebabkan kegiatan perindustrian dan kegiatan alam dapat berpengaruh terhadap kehidupan biota laut baik bersifat langsung maupun tidak langsung, misalnya melalui penurunan kualitas air. Mengingat merkuri sebagai pencemar paling berbahaya, maka diperlukan penanganan yang tepat untuk mengurangi merkuri di lingkungan perairan. Salah satu cara yang sederhana yaitu dengan penanaman hiperakumulator. Bakau jenis *Rhizophora mucronata* adalah salah satu tanaman hiperakumulator yang dapat menyerap merkuri dengan efektif. Penelitian ini membahas tentang distribusi konsentrasi merkuri (Hg) pada akar bakau *Rhizophora mucronata* yang dikaji melalui model difusi. Modifikasi model tersebut adalah $u_t = ku_{xx} + f(x)$ dimana $f(x)$ menyatakan fungsi absorpsi akar dalam menyerap merkuri. Skema numerik diperoleh dengan menggunakan metode beda hingga skema Eksplisit untuk mendapatkan solusi numerik. Dari hasil perhitungan yang diperoleh konsentrasi merkuri terdistribusi secara menurun dari kulit akar menuju bagian tengah akar dan selisih distribusi konsentrasi merkuri (Hg) pada setiap lapisan dari kulit akar menuju bagian tengah akar semakin mengecil dari minggu pertama sampai dengan minggu kelima.

Kata Kunci : Persamaan Difusi, Skema Beda Hingga Eksplisit, Bakau, Merkuri

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keberadaan logam berat yang terlarut baik pada air laut, sedimen maupun Loran di wilayah perairan pantai sangat tergantung pada baik buruknya kondisi perairan tersebut. Semakin tinggi aktivitas yang melepaskan logam berat sebagai limbahnya, baik di darat maupun areal pantainya maka kadar logam berat dapat meningkat pula (Anonim dalam Ali, 2010). Sebagai salah satu logam berat, elemen air raksa sebenarnya relatif tidak berbahaya kecuali bila terhirup secara langsung sampai ke paru – paru. Bentuk racun dari air raksa pada proses masuknya ke tubuh manusia adalah methyl merkuri (CH_3Hg^+ dan $\text{CH}_3\text{-Hg-CH}_3$) dan garam organik. Merkuri bersifat toksik untuk makhluk hidup bila penggunaannya dalam jumlah yang cukup dan dalam waktu yang lama.

Merkuri akan tersimpan secara permanen di dalam tubuh, yaitu jika terjadi inhibisi enzim dan kerusakan sel, sehingga kerusakan tubuh dapat terjadi secara permanen (WHO dalam Inswiasri, 2008). Dampak toksik merkuri yang secara langsung seperti gangguan saraf, tuli, sulit berkonsentrasi dan gangguan kulit seperti gangguan Minamata (Lestaris, 2010). Mengingat sifat merkuri yang sangat berbahaya, maka penyebaran merkuri ini perlu penanganan untuk menekan jumlah limbah merkuri. Salah satu cara yang sederhana yaitu dengan penanaman hiperakumulator di sekitar pembuangan limbah sehingga dapat mengurangi pencemaran merkuri. Usaha ini disebut fitoremediasi.

Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan-polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumputan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Chaney et al. dalam Hidayati, 2005). Lokasi akumulasi logam berat pada tanaman terdistribusi hampir di seluruh bagian tanaman, yaitu akar, daun, dan bunga (Krause dkk dalam Azidi dkk, 2008).

Menurut Ali (2010) Tanaman mangrove jenis *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, dan *Bruguiera gymnorhiza* mampu mengakumulasi logam berat timbal (Pb) dan merkuri (Hg). Penyerapan Logam berat yang terlarut baik dari sedimen maupun air laut dilakukan oleh akar. Larutan luar termasuk logam berat merkuri (Hg), mula – mula menempel pada dinding sel. Sampai di dinding sel molekul atau ion yang larut akan bergerak relatif cepat dengan proses difusi. Sel akar dapat menyerap larutan bila mempunyai konsentrasi larutan yang lebih kecil dari pada konsentrasi larutan pada tanah (proses difusi). Karenanya distribusi merkuri (Hg) pada akar mangrove dapat direpresentasikan oleh persamaan difusi.

Persamaan difusi adalah persamaan tipe hiperbolik yang merupakan persamaan diferensial parsial. Penyelesaian persamaan diferensial parsial dapat dilakukan dengan beberapa metode. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan solusi secara

numerik adalah metode beda hingga. Metode beda hingga sangat sering dipakai untuk mencari solusi suatu persamaan diferensial parsial. Hal ini disebabkan mudahnya mendekati persamaan diferensial parsial dengan pendekatan deret *Taylor* sehingga diperoleh persamaan beda. Ide metode beda hingga adalah membawa domain persamaan diferensial parsial ke dalam domain komputasi yang berupa grid (Darmin, 2013). Melalui metode tersebut distribusi merkuri pada setiap pias dalam domain dapat ditentukan.

Berdasarkan paparan tersebut, penulis tertarik untuk menentukan distribusi konsentrasi merkuri (Hg) pada akar *Rhizophora mucronata* dan dituangkan dalam sebuah penulisan tugas akhir.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana distribusi konsentrasi merkuri (Hg) pada akar Bakau (*Rhizophora mucronata*) menggunakan metode beda hingga?

1.3. Batasan Masalah

1. Syarat batas yang digunakan adalah syarat batas Dirichlet dan Neumann. Metode beda hingga yang dipakai adalah metode beda hingga maju skema Eksplisit.
2. Proses distribusi konsentrasi merkuri (Hg) pada akar Bakau (*Rhizophora mucronata*) ini disimulasikan menggunakan software Matlab R2010a.
3. Data konsentrasi merkuri (Hg) di akar bakau *Rhizophora mucronata* merupakan data laboratorium (Ali dan Rina, 2010).

1.4. Asumsi Penelitian

Beberapa asumsi dalam penelitian ini antara lain:

1. Aliran merkuri (Hg) pada akar bakau (*Rhizophora mucronata*) hanya terjadi satu arah, yaitu dari kulit ke pusat (titik tengah) akar.
2. Nilai konsentrasi merkuri (Hg) yang menjadi batas kanan dan batas kiri sama sehingga perhitungan hanya dilakukan separuh domain.
3. Nilai awal konsentrasi merkuri (Hg) di kulit akar bakau (*Rhizophora mucronata*) akibat proses aklimasi 1,1516 ppm.
4. Nilai koefisien difusi merkuri (Hg) pada akar bakau *Rhizophora mucronata* sama dengan koefisien difusi merkuri (Hg) pada padatan timah yaitu sebesar $1,5120 \times 10^{-7} \text{ dm}^2/\text{7hari}$.
5. Diameter akar dianggap konstan, yaitu 0,05 dm.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan sesuai prosedur penelitian sebagai berikut:

1. Tahap awal pada penelitian ini dilakukan studi pustaka untuk mencari referensi yang sesuai dengan subjek penelitian.
2. Pengumpulan Data
3. Identifikasi masalah dilakukan untuk mencari tahu masalah yang ada sehingga dapat ditentukan asumsi penelitian.
4. Membangun model modifikasi persamaan difusi (model aliran merkuri pada akar bakau (*Rhizophora mucronata*).
5. Menerapkan skema beda hingga eksplisit (FTCS) pada model aliran merkuri pada akar bakau (*Rhizophora mucronata*).
6. Menentukan nilai awal dan syarat batas berdasarkan data yang telah dikumpulkan
7. Menentukan Δx dan Δt
8. Melakukan perhitungan numerik secara manual
9. Simulasi dan Interpretasi menggunakan program MATLAB R2010a.
10. Kesimpulan.
11. Selesai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Penelitian

Dalam penelitian ini mangrove yang digunakan adalah mangrove jenis *Rhizophora mucronata* yang berumur 4 bulan dengan diameter akar 0,05 dm. Dengan konsentrasi merkuri awal di media tanam sebesar 157,61 ppm dan nilai konsentrasi awal di akar mangrove sebesar 13,82 (proses aklimasi). Adapun nilai konsentrasi merkuri (Hg) di media tanam dan akumulasi konsentrasi (Hg) pada akar mangrove setelah proses aklimasi (Ali dan Rina, 2010) sebagai berikut:

Tabel 1 : Konsentrasi Merkuri (Hg) di Media dan Akar Bakau

Waktu (Minggu atau setiap 7 hari)	Kadar Logam berat Merkuri (Hg) ppm	
	Media	Akar
0	157,412	13,82
7	102,93	37,07
14	48,02	57,28
21	23,46	80,24
28	11,72	88,23
35	6,35	92,47

3.2. Model Modifikasi Persamaan Difusi

Bentuk umum persamaan difusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah persamaan sebagai berikut:

$$u_t = ku_{xx} \quad (1)$$

dimana u menyatakan konsentrasi merkuri (Hg) pada lokasi x , waktu t , dan k menyatakan koefisien difusi.

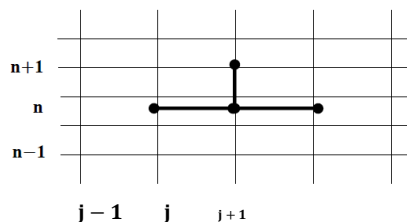
Untuk mempertahankan nilai konsentrasi merkuri (Hg) yang terdifusi di akar mangrove terus meningkat akibat absorpsi maka persamaan (1) dimodifikasi menjadi:

$$u_t = ku_{xx} + f(x) \quad (2)$$

dimana $f(x)$ suatu fungsi yang menyatakan faktor eksternal yang merepresentasikan absorpsi merkuri (Hg) oleh akar bakau. Persamaan (2) ini yang digunakan untuk menentukan distribusi konsentrasi merkuri (Hg) di akar bakau (*Rhizophora mucronata*).

3.3. Penyelesaian Numerik Distribusi Konsentrasi Merkuri (Hg) Menggunakan Metode Beda Hingga

Dalam penelitian ini distribusi merkuri di akar bakau (*Rhizophora mucronata*) hanya dipandang sebagai aliran polutan dari kulit akar ke pusat (titik tengah) akar. Metode beda hingga yang digunakan untuk menentukan distribusi merkuri (Hg) pada akar bakau adalah metode beda hingga skema eksplisit (FTCS), dimana pada skema eksplisit, variabel pada waktu $n + 1$, dihitung berdasarkan pada variabel waktu n yang sudah diketahui nilainya sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1 : Skema ksplisit(FTCS)

Pada Gambar 1, noktah pada waktu ke $n+1$ merupakan titik baru yang akan ditentukan nilai konsentrasinya, sedangkan noktah pada waktu ke n merupakan kandungan merkuri pada waktu tersebut. Garis horizontal pada posisi grid ke $j - 1$, j dan $j + 1$ menghubungkan antara titik – titik yang akan digunakan untuk menghitung derivatif terhadap ruang, sedangkan garis vertikal menghubungkan titik – titik yang akan digunakan untuk menghitung derivative terhadap waktu.

Dengan menggunakan skema tersebut, variabel konsentrasi merkuri, $u(x, t)$ dan turunannya dua kali dalam ruang dan waktu didekati oleh $u(j, n) = u_j$ sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} u_x(x_j, t_n) &= \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\Delta t} \\ \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} &= \frac{u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n}{\Delta x^2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Dengan menerapkan persamaan (3) pada persamaan (1) dan menyusun kembali suku – suku yang bersesuaian akan diperoleh

$$u_j^{n+1} = u_j^n + \frac{k\Delta t}{\Delta x^2} (u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n) \quad (4)$$

Dimana $u_j = u(x_j)$, $j = 1 \dots N$, N adalah banyaknya pias. Persamaan (4) dapat ditulis menjadi

$$u_j^{n+1} = S(u_{j+1}^n + u_{j-1}^n) + (1 - 2S) u_j^n \quad (5)$$

$$\text{dimana } S = k \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \quad (6)$$

Mengingat persamaan difusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah persamaan (2), maka skema beda eksplisit (FTCS) bagi persamaan tersebut adalah

$$u_j^{n+1} = S(u_{j+1}^n + u_{j-1}^n) + (1 - 2S) u_j^n + f(x_i) \quad (7)$$

karena akumulasi konsentrasi merkuri (Hg) di setiap minggu terus meningkat maka pemilihan nilai $f(x_i)$ merupakan fungsi yang nilainya menurun, sehingga dalam penelitian ini dapat dipilih fungsi absorpsi $f(x_i) = 1.03 - x_i$.

3.3.1. Penentuan Nilai Awal dan Syarat Batas

Nilai awal yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai konsentrasi merkuri (Hg) di kulit akar bakau pada proses aklimasi sebesar 1,1516 ppm. Selain nilai awal, diperlukan pula syarat batas yang diambil dari asumsi penelitian bahwa akar mangrove berada ditengah polibag. Maka diasumsikan pula bahwa nilai konsentrasi merkuri di media sebelah kiri dan kanan sama. Karena nilainya sama maka masalah distribusi konsentrasi merkuri di akar mangrove akan simetris terhadap titik tengah akar, yaitu $x = L/2$. Jadi dalam kasus ini dapat diformulasikan masalah distribusi konsentrasi merkuri di akar bakau cukup pada separuh domain saja. Sehingga syarat batas kirinya, yaitu di media akar bakau, konsentrasi merkuri diambil dari hasil pengukuran laboratorium sebagai berikut:

$$u(0,0) = 78,805$$

$$u(0,7) = 51,465$$

$$u(0,14) = 24,01$$

$$u(0,21) = 11,73$$

$$u(0,28) = 5,86$$

$$u(0,35) = 3,175$$

Nilai syarat batas kiri tersebut adalah nilai konsentrasi merkuri (Hg) pada kulit akar bakau, dan syarat batas kanannya yaitu di titik tengah akar yaitu $u_x\left(\frac{L}{2}, t\right) = 0$. Mengingat batas akhir perembesan merkuri terdapat di pusat akar. Untuk syarat batas $u_x\left(\frac{L}{2}, t\right) = 0$, dengan menggunakan skema beda Center Space Diferensial, dapat diperoleh:

$$u_x\left(\frac{L}{2}, t\right) = \frac{u_{j+1}^n - u_{j-1}^n}{2\Delta x} = 0$$

$$u_{\left(\frac{L}{2}\right)+1}^n - u_{\left(\frac{L}{2}\right)-1}^n = 0$$

3.3.2. Penentuan Distribusi Merkuri (Hg)

Dengan mengambil nilai $\Delta x = 0,0042$, banyaknya grid (N) adalah 6 (separuh domain), $\Delta t = 7$ dan nilai koefisien difusi merkuri (Hg) adalah $1,512 \times 10^{-7} \text{ dm}^2/7 \text{ hari}$ maka nilai S persamaan (6) menjadi $S = \frac{(0,0000001512 \times 7)}{0,00001764} = 0,0610$.

Skema eksplisit pada persamaan (7) untuk nilai S tersebut, adalah

$$u_j^{n+1} = 0,0610u_{j+1}^n + 0,0610u_{j-1}^n + 0,878u_j^n + (1,03 - x_i) \quad (8)$$

Untuk titik-titik x_j^n dengan $j = 1, \dots, 7$ dan $n = 0, \dots, N$ persamaan (8) memberikan

$$\begin{aligned} u_1^1 &= 0,0610u_2^0 + 0,0610u_0^0 + 0,878u_1^0 + (1,03 - 0,0042) \\ &= 0,0610(1,1516) + 0,0610(78,8050) + 0,878(1,1516) + (1,0258) \\ &= 0,0702 + 4,8071 + 1,0111 + 1,0258 \\ &= 6,9142 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_2^1 &= 0,0610u_3^0 + 0,0610u_1^0 + 0,878u_2^0 + (1,03 - 0,0084) \\ &= 0,0610(1,1516) + 0,0610(1,1516) + 0,878(1,1516) + (1,0216) \\ &= 0,0702 + 0,0702 + 1,0111 + 1,0216 \\ &= 2,1731 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_3^1 &= 0,0610u_4^0 + 0,0610u_2^0 + 0,878u_3^0 + (1,03 - 0,0126) \\ &= 0,0610(1,1516) + 0,0610(1,1516) + 0,878(1,1516) + (1,0174) \\ &= 0,0702 + 0,0702 + 1,0111 + 1,0174 \\ &= 2,1689 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_4^1 &= 0,0610u_5^0 + 0,0610u_3^0 + 0,878u_4^0 + (1,03 - 0,0168) \\ &= 0,0610(1,1516) + 0,0610(1,1516) + 0,878(1,1516) + (1,0132) \\ &= 0,0702 + 0,0702 + 1,0111 + 1,0132 \\ &= 2,1647 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_5^1 &= 0,0610u_6^0 + 0,0610u_4^0 + 0,878u_5^0 + (1,03 - 0,0210) \\ &= 0,0610(1,1516) + 0,0610(1,1516) + 0,878(1,1516) + (1,0090) \\ &= 0,0702 + 0,0702 + 1,0111 + 1,00900 \\ &= 2,1605 \end{aligned}$$

$$u_6^1 = 2,1647$$

Konsentrasi merkuri pada iterasi selanjutnya dihitung dengan mensubstitusikan nilai $u_1^1, u_2^1, \dots, u_5^1$ sehingga diperoleh nilai $u_1^n, u_2^n, \dots, u_5^n$ dengan $n = 2, \dots, N$. Perhitungan dengan Metode Eksplisit tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 : Distribusi Konsentrasi Merkuri (Hg) pada Akar Bakau

	Konsentrasi Merkuri (Hg)						
	$j = 0$ $x = 0$	$j = 1$ $x = 0,0042$	$j = 2$ $x = 0,0084$	$j = 3$ $x = 0,0126$	$j = 4$ $x = 0,0168$	$j = 5$ $x = 0,0210$	$j = 6$ $x = 0,0252$
$n = 0$ $t = 0$	78,805	1,1516	1,1516	1,1516	1,1516	1,1516	1,1516
$n = 1$ $t = 7$	51,465	6,9142	2,1731	2,1689	2,1647	2,1605	2,1647
$n = 2$ $t = 14$	24,01	10,3684	3,4837	3,1863	3,1779	3,1627	3,1779
$n = 3$ $t = 21$	11,73	11,8064	4,9072	4,2214	4,1907	4,1737	4,1907
$n = 4$ $t = 28$	5,86	12,4066	6,3078	5,2787	5,2047	5,1805	5,2047
$n = 5$ $t = 35$	3,175	12,6611	7,6386	6,3544	6,2209	6,1925	6,2209

3.3.3. Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dengan Data Laboratorium dan Galat Perhitungan

Hasil perhitungan numerik akumulasi konsentrasi merkuri (Hg) di akar bakau *Rhizophora mucronata* tiap minggu diperoleh dengan cara menjumlahkan konsentrasi merkuri (Hg) di tiap posisi x pada Tabel 2. Jumlah tersebut merupakan konsentrasi merkuri pada separuh domain, sehingga total merkuri yang terkandung pada akar menjadi dua kalinya. Akumulasi merkuri hasil perhitungan numerik tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3 : Akumulasi Kandungan Merkuri (Hg) pada AkarBakau *Rhizophora mucronata* beserta Galat Perhitungan disetiap Minggu

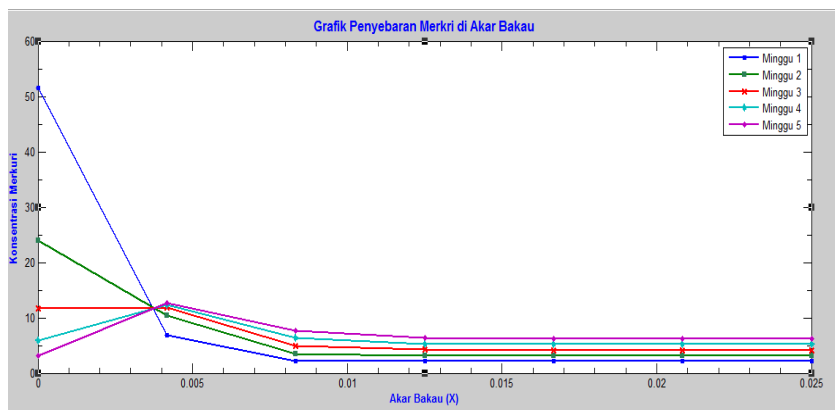
Minggu	Data Laboratorium	Hasil Perhitungan Numerik	Galat Mutlak	Galat Relatif
1	37,07	35,4992	1,5708	0,0437
2	57,28	53,1138	4,1662	0,0727
3	80,24	66,9802	13,2598	0,1652
4	88,23	79,1660	9,064	0,1027
5	92,47	90,5768	1,8932	0,0204

Analisis galat sangat penting untuk mengukur akurasi dari suatu metode numerik. Galat berasosiasi dengan seberapa dekat solusi hampiran terhadap solusi sejatinya. Semakin kecil galatnya, semakin teliti solusi numerik yang didapatkan. Namun, ukuran galat mutlak tidak menggambarkan seberapa besar galat dibandingkan dengan nilai sejatinya. Sehingga galat harus dinormalkan terhadap nilai sejatinya atau biasa disebut sebagai galat relatif. Dari solusi numerik yang diperoleh pada penelitian ini memperlihatkan bahwa akumulasi konsentrasi merkuri (Hg) pada akar bakau

Rhizophora mucronata mengalami peningkatan setiap minggunya. Pada minggu ke tiga, galat mencapai nilai terbesar yaitu 16,52% sedangkan galat terkecil terjadi pada minggu kelima yaitu 2,04%. Tabel 2 juga menunjukkan bahwa untuk waktu n yang semakin besar selisih konsentrasi merkuri (Hg) pada kulit akar bakau *Rhizophora mucronata* dari pusat akar akan semakin kecil.

3.4. Simulasi

Pada bagian ini, solusi yang merepresentasikan distribusi konsentrasi merkuri di setiap minggu digambarkan menggunakan program MATLAB R2010a. Grafik distribusi konsentrasi merkuri (Hg) pada akar bakau dari minggu pertama sampai minggu ke lima ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 : Grafik Distribusi Konsentrasi Merkuri (Hg) di Akar Bakau tiap Minggu

IV. KESIMPULAN

Metode beda hingga yang digunakan dalam penelitian ini dapat merepresentasikan proses penyerapan merkuri oleh akar bakau dengan baik yang diukur dari galat relatif solusi numeriknya. Konsentrasi merkuri (Hg) terdistribusi secara menurun dari kulit akar menuju bagian tengah akar dan selisih distribusi konsentrasi merkuri (Hg) pada setiap lapisan dari kulit akar menuju bagian tengah akar semakin mengecil dari minggu pertama sampai dengan minggu kelima.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali, M dan Rina, *Kemampuan Tanaman Mangrove Untuk Menyerap Logam Berat Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb)*, *Jurnal Ilmu Teknik Lingkungan*, Vol. 2, No.2,28, 2010, (<https://core.ac.uk/download/pdf/12216692.pdf>.: Diakses 15 April 2015).
- [2] Azidi, I., Noer, K., dan E. N. Yenny, *Kajian Penyerapan logam Cd, Ni, dan Pb dengan Varietas Konsentrasi pada Akar. Batang dan Daun tanaman Bayam (Amranthus tricolor L)*, Program Studi Kimia Fakultas MIPA Universitas Lampung Mangkurat, Kalimantan Selatan, 2008.

- [3] Darmin dan L. Hanafi, *Studi Perbandingan Perpindahan Panas Menggunakan Metode Beda Hingga dan Crank – Nicholson*, 2013, (<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-29484-1206100701-Paper.pdf> : diakses 30 November 2015).
- [4] Hidayati, Nuril, *Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator*, *Jurnal* 12(1):35-40, 2015, (journal.ipb.ac.id/index.php/hayati/article/download/169/36: diakses 30 November 2015).
- [5] Inswiasri, *Paradigma Kejadian Pejalan Merkuri*, *Jurnal Ekologi Kesehatan*, Vol.7 No. 2: 775-785, 2008, (<http://download.portalgaruda.org/article.php?article=71636&val=4887>: Diakses 16 Desember 2015).
- [6] Lestaris, Trilianty, *Faktor – faktor yang berhubungan dengan keracunan merkuri (Hg) pada penambang emas tanpa ijin (peti) di Kecamatan Karun, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah*, Tesis. Semarang: Program Studi Kesehatan Lingkungan. Universitas Diponegoro, 2010 , (<https://core.ac.uk/download/pdf/11722817.pdf>: Diakses 16 Desember 2015).
- [7] Sulistyono, A.S, *Aplikasi metode beda hingga skema eksplisit pada persamaan konduksi panas*, 2015, (<http://efektor.unpkediri.ac.id/index.php/matematika/article/view/122>. : Diakses 30 Agustus 2016).